Über den vegetabilischen Nährwerth der Kalksalze.

Von **Joseph Boehm**,

Professor an der Universität und an der Hochschule für Bodenkultur in Wien.

Im Jahre 1800 stellte die Berliner Akademie der Wissenschaft folgende Preisfrage: „Von welcher Art sind die erdigen Bestandtheile, welche man mit Hilfe der chemischen Zergliederung in den verschiedenen inländischen Getreidearten findet? Treten diese in solche so ein wie man sie findet oder werden sie durch die Wirkung der Organe der Vegetation erzeugt?“ Diese Frage wurde von Schrader dahin beantwortet, dass die Pflanze die in ihr enthaltenen Aschenbestandtheile durch ihren Lebensprocess erzeuge.

Schon im Jahre 1804 sprach der grosse Pflanzenphysiologe Saussure seine Überzeugung dahin aus, dass Phosphorsäure, Kali und Kalk wesentliche Nährstoffe der Pflanzen seien, konnte aber seine Vermuthung nicht genügend beweisen.

In den „Elementen der Agriculturchemie“ (1814) von Humphry Davy liest man auf S. 19 (deutsche Übersetzung): „Die chemische Wirkung der einfacheren Düngerarten, der Düngerarten, welche in kleinen Quantitäten wirken, wie der Gyps, die Alkalien und mehrere salinische Substanzen, war bis jetzt noch in tiefes Dunkel gehüllt. Die gewöhnliche Meinung ist die, dass diese Substanzen auf die vegetabilische Oekonomie auf eben die Art wie die Gewürze oder Reizmittel auf die thierische Oekonomie wirken, und dass sie die gewöhnliche Speise der Pflanze nährender machen. — . . . Die Meinung scheint jedoch der Natur der Sache möglich angemessener zu sein, dass sie wirklich einen Theil der Pflanzennahrung ausmachen und dass sie für die Pflanzenfaser diejenige Art von Stoff hergeben, welcher im thierischen Körper der Substanz der Knochen analog ist.“

Sprengel schreibt in seiner „Lehre vom Dünger" 1839: „Wir können mit Gewissheit annehmen, dass die mineralischen Körper allen Gewächsen auch zur wirklichen Nahrung dienen und zu ihrer chemischen Constitution ebenso wesentlich erforderlich sind als der Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff der organischen Düngermaterialien. Wir sehen immer, dass diejenigen Aschen am besten düngen, welche reich an Gyps, phosphorsaurer Kalkerde, Kochsalz und schwefelsaurem Kali sind; folglich können wir uns auch überzeugt halten, dass, da diese Salze nicht auf den Humus des Bodens wirken, die Pflanzen durch selbige einzig und allein ernährt werden. Schon oft hat man gesehen, dass ein Düngesalz, welches in der einen Gegend das üppigste Pflanzenwachsthum hervorbrachte, in der anderen sich völlig indifferent verhielt; dies lässt sich nur dadurch erklären, dass der Boden schon alle die Stoffe, woraus das Salz bestand, in hinreichender Menge enthielt." Siehe S. 284, 356, 408.

In ganz entgegengesetztem Sinne äussert sich gleichzeitig Berzelius in seinem Handbuche 1839: „Die Pflanzen", sagt er, „nehmen das Material zu ihrem Wachsthum aus der Erde und aus der Luft, welche beide gleich unentbehrlich für sie sind. Die Kalkerde dient theils als Reizmittel, theils als chemisches Agens, wodurch die Bestandtheile der Dammerde in Wasser auflöslicher werden, daher kann man das Kalken nicht ein Düngen nennen. Ein anderer Einfluss der Kalkerde und der Alkalien in der Asche besteht darin, dass durch ihre Einwirkung die organischen Materien schneller in Humus verwandelt werden. Es ist unbekannt, wie der Gyps die vortheilhaften Wirkungen hervorbringt, die man aus der Erfahrung kennt."

Es ist bekannt, mit welch' starker, auf gründlicher Reflexion basirenden Überzeugung Liebig in seinem berühmten Buche: „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie" im Jahre 1840 für die Wichtigkeit der Aschenbestandtheile als unentbehrlicher Nährstoffe der Vegetabilien eintrat. Obwohl Liebig seine Behauptungen durch keine directen Versuche gestützt hatte, wurde er doch in Folge der richtigeren Erkenntniss der Bedeutung des Humus für die grünen Gewächse, unterstützt durch seine dominirende Autorität als einer der ersten Fachchemiker seiner Zeit, sowie durch die musterhafte Darstel-

lung seiner Lehre, der Gründer der modernen Landwirthschaft. Nur einem Liebig war es möglich, trotz des Mangels schlagender Beweise für seine Anschauung über die Ernährung der Pflanzen, welche mit dem ererbten herrschenden Glauben der Praktiker in vollem Widerspruche stand, das grosse Heer der Gegner, die naturgemäss am Hergebrachten festhalten, in verhältnissmässig kurzer Zeit nicht nur zu besiegen, sondern unter seine Fahne zu schaaren.

Die durch Liebig's Eingreifen so brennend gewordene Frage über die Bedeutung der mineralischen Stoffe für das vegetabilische Leben wurde wissenschaftlich exact erst entschieden durch die Versuche von Wiegmann und Polstorff, welche auf Veranlassung einer von der Universität Göttingen ausgeschriebenen Preisfrage unternommen wurden. Die Frage lautete: Finden sich die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in den Pflanzen, wenn sie denselben nicht dargeboten werden, und sind jene Elemente so wesentliche Bestandtheile des vegetabilischen Organismus, dass dieser sie zu seiner völligen Ausbildung bedarf? Der Preis wurde im Jahre 1842 den genannten Herrn für die folgende Antwort zuerkannt: Das Wachsthum der Pflanzen wird sehr behindert und fast ganz unterdrückt, sobald nicht eine gewisse Menge anorganischer Bestandtheile in auflöslichem Zustande in dem Boden zugegen ist.

Die nächste Frage, deren Beantwortung nun auf experimentellem Wege in Angriff zu nehmen war, musste offenbar lauten: Welche Mineralstoffe sind speciell für die vegetabilische Entwicklung unerlässlich?

Der erste Schritt zur Beantwortung dieser Frage wurde durch zahlreiche Aschenanalysen besonders während der letzten 30 Jahren gemacht. Unter den in der Pflanzenasche gefundenen Mineralstoffen müssen, falls nicht alle für die betreffende Vegetation unentbehrlich sind, sicher doch auch jene enthalten sein, ohne welche sich der Pflanzenleib nicht aufbauen kann. Endgiltig kann die Frage aber nicht durch Aschenanalysen, sondern nur durch Culturversuche entschieden werden. Diese jedoch in beweisender, jeden Zweifel ausschliessender Form durchzuführen, ist keine leichte Aufgabe. Seit mehr als drei

Decennien arbeiten Professoren und Privatgelehrte, Physiologen und Chemiker mit vereinten Kräften; die Regierungen fast aller civilisirten Staaten und erleuchtete Grossgrundbesitzer bewilligen in Anbetracht der praktischen Wichtigkeit einer entscheidenden Antwort auf die Frage bedeutende Mittel zur Errichtung von Laboratorien und Versuchsstationen, und was wissen wir? Dass Eisen, Kalium, Natrium, Calcium und Magnesium, Schwefel, Phosphor, Silicium und Chlor sich ausnahmslos in den Aschen der höheren Pflanzen finden; wir wissen aber durchaus nicht, ob das Silicium, das Chlor, das Natrium und vielleicht auch das Magnesium zum Aufbau der Gewächse absolut nothwendig, nicht vielleicht durch andere verwandte Elemente ersetzbar sind u. s. w., und wir werden hierüber solange im Unklaren bleiben, bis wir über die physiologische Function eines jeden Aschenbestandtheiles in ebenso vollständiger Weise unterrichtet sind, wie über die Rolle des Sauerstoffes, der Kohlensäure und der Salpetersäure bei der Entwicklung der Gewächse.

Schon seit Jahren fühlte ich in mir den Drang, mich mit meinen schwachen Kräften bei der Lösung dieser hochwichtigen Frage zu betheiligen, aber erst seit einem Jahre sind mir Zeit und Mittel geboten, um die Arbeit in Angriff zu nehmen.

Nach mehreren fruchtlosen Vorversuchen schien es mir, um über die Bedeutung des einen oder anderen Aschenbestandtheiles bei der Vegetation vielleicht doch ins Klare zu kommen, vor allem wichtig und nothwendig, zu entscheiden, ob derselbe bei der Bildung organischer Substanz oder bei deren Umformung in Formbestandtheile des Pflanzenleibes in Action kommt. Als Versuchsobjecte zur Beantwortung dieser so formulirten Frage erwiesen sich nach einigem Herumtappen und gestützt auf frühere Beobachtungen, die Feuerbohnen sehr geeignet.

Die Samen enthalten bekanntlich in den Cotylen der Embryonen oder in dem diese umgebenden Gewebe jene Stoffe, welche zum Aufbau der jungen Pflanze soweit dienen, dass diese sich, auf eigene Kraft angewiesen, selbst ernähren kann. Die Menge dieser Reservenahrung ist in den meisten Fällen eine für den gegebenen Zweck mehr als ausreichende. Dadurch wird die junge Keimpflanze in den Stand gesetzt, ungünstige Verhältnisse während ihrer ersten Entwicklungsstadien leichter

zu überdauern. Wären diese allseitig die möglichst vortheilhaften, so würde, bei den Bohnen wenigstens, die Hälfte der thatsächlich in der Regel vorhandenen Reservenahrung ausreichen, damit deren Keimlinge zu kräftigen blüthen- und samenreichen Pflanzen heranwachsen.

Zwischen Individuen, die ich in guter Ackererde aus kleinen und grossen Bohnen und aus solchen zog, bei denen ein Keimlappen entfernt wurde, fand sich durchschnittlich kein grösserer Unterschied, als zwischen den verschiedenen, aus gleich grossen (gleich schweren) Samen gezogenen Exemplaren. Jeder in der freien Natur keimende Samen findet, ob der Boden zur vollen Entwicklung des jungen Sprösslings vorerst geeignet ist oder nicht, in dem Keimwasser gewisse mineralische Stoffe und zwar vorzüglich jene, welche in ihm selbst nur in geringer Menge vorhanden sind.

In Folge dieser Erfahrungen und Reflexionen stellte ich mir folgende zwei Fragen:

1. Sind mineralische Nährstoffe für die Keimpflanze, so lange diese auf Kosten der Reservenahrung lebt, überhaupt nothwendig? und falls die Antwort hierauf bejahend lauten würde, ist
2. das Mengenverhältniss der organischen und unorganischen Reservenahrung in Anbetracht der sicher wohl nur einseitigen Abhängigkeit ein sich völlig deckendes, um alle vorhandene Stärke etc. zum Aufbau von Keimorganen zu verwenden?

Zur Lösung dieser beiden Fragen gab es nur einen Weg: die Cultur der Keimpflanzen in destillirtem Wasser unter Verhältnissen, bei denen die Möglichkeit einer Assimilation ausgeschlossen war. Zu letzterem Zwecke braucht man die Pflanzen nur im Dunkel oder im Halbdunkel zu ziehen (d. i. bei einer Lichtstärke, durch welche grüne Organe zur Zerlegung der Kohlensäure nicht befähiget werden). Anfangs machte ich die Versuche in Glasgefässen. Zur Controle wurden natürlich gleichzeitig und daneben stets Pflanzen in Nährstofflösung oder in Ackererde gezogen.

Schon das Resultat des ersten mit 200 verschieden schweren (0·8 bis 2·1 Gramm) Bohnen angestellten Versuches war ein

überraschendes. Während (bei einer ziemlich constanten Temperatur von 20 bis 21° C.) nach 4 Wochen von den in destillirtem Wasser gezogenen Pflanzen keine einzige mehr lebte, war hingegen von den in Nährstofflösung oder in Töpfen gezogenen noch keine einzige abgestorben.

Das Absterben erfolgte stets in sehr charakteristischer Weise: es vermorschten und vertrockneten die Stengel zuerst unter der Endknospe. Dies geschah aber bei den Individuen derselben Cultur in demselben Gefässe durchaus nicht gleichzeitig; oft schon, wenn der Stengel erst eine Länge von 2 bis 3 Ctm. erreicht hatte, oft aber auch erst, nachdem derselbe sich bis auf 40 bis 50, ja selbst 60 Ctm. gestreckt hatte. Die Grösse und Schwere der verwendeten Samen war dabei völlig belanglos und die Cotylen beim Erschlaffen der Stengelspitze noch meist ganz prall und stärkehältig. Nur ausnahmsweise erhielten sich die Stengelenden bis zur Auswanderung aller Stärke aus den Keimlappen frisch. — Dass die Ursache des soeben beschriebenen vorzeitigen Absterbens der Bohnenkeimpflanzen in destillirtem Wasser durch den Mangel mineralischer Nährstoffe bedingt ist, ist zweifellos; es unterbleibt dasselbe nicht nur bei Culturen im Topfe oder in Nährstofflösung, sondern auch bei der Anwendung von gewöhnlichem Brunnenwasser. Dass dieses Absterben aber unter ganz gleichen Verhältnissen bei dem einen Individuum früher als bei dem anderen erfolgte, konnte entweder dadurch bedingt sein, dass die einen Samen reicher an Aschenbestandtheilen waren, oder dass durch die Wurzeln der älter gewordenen Pflanzen die Glaswände angegriffen wurden, oder dass durch den Staub, welcher zwischen die Fugen des Kastens (in dem die Versuche gemacht wurden) und bei dessen Öffnen behufs täglicher Erneuerung der Culturflüssigkeit eindrang, die verschiedenen Individuen in ungleicher Weise ernährt wurden.

Um hierüber in's Klare zu kommen, liess ich mir, da die Culturen von Keimpflanzen in Zinkgefässen misslangen (die Böden der Tassen beschlugen sich mit weissen Krusten von kohlensaurem Zink, die Wurzeln starben kaum nach ihrer Entwicklung und die Stengel wurden höchstens 5 Ctm. lang), 16 Ctm. weite, gut versilberte Kupferschalen anfertigen. Diese wurden

auf 21 Ctm. weite Glasschalen gestellt und von tubulirten Glocken verschiedener Höhe bedeckt. In die Glocken wurden, um die für das vegetabilische Wachsthum so schädliche Kohlensäure [1] zu entfernen, Gefässe mit Kalistücken eingehängt, und durch Verschluss des Tubulus mit einem lockeren Baumwollpfropf wurde dem Eindringen von Staub vorgebeugt. Die Glasschalen enthielten etwas Wasser, wodurch der Glockeninhalt von der äusseren Luft abgesperrt wurde. Die Glocken wurden täglich abgehoben und das destillirte Wasser durch frisches ersetzt. Dieses Wasser wurde zweimal destillirt und in einer grossen (8 Liter hältigen) versilberten Kupferflasche mit abschraubbarem Halse (um das Reinigen zu erleichtern) vorräthig gehalten.

Die Resultate der zahlreichen, mittelst dieser Apparate im abgelaufenen Winter in meinen Laboratorium angestellten Versuche waren von denen der früheren Versuche in Glasschalen, die frei im Kasten standen, nicht wesentlich verschieden, nur gingen die Keimpflanzen unter den oben beschriebenen Erscheinungen durchschnittlich etwas früher zu Grunde. Ausnahmsweise erreichte auch hier bei einzelnen Individuen der Stengel eine Länge von 40—50 Ctm.

Etwas besser als auf silberplattirten Schalen und fast ebensogut wie in Glassgefässen gediehen die Bohnenkeimlinge im Allgemeinen auf Porzellantassen; die Wurzeln waren häufig entwickelter und das Absterben der Stengelenden erfolgte durchschnittlich später. Da nicht anzunehmen ist, dass Porzellan von den Wurzeln angegriffen wird (Tassen, in welchen ich seit einem Jahre ununterbrochen Bohnenkeimlinge cultivire, haben noch an der ganzen Innenseite die ursprünglich glänzende Oberfläche) und da anderseits die Pfleglinge in Nährstofflösung auf silberplattirten Schalen vortrefflich gedeihen, vermuthe ich, dass die besprochene Differenz eine zufällige war.

Durch die angeführten Versuchsresultate ist die Antwort auf die obengestellte Frage gegeben. Die Ursache des verschiedenzeitigen Absterbens der Individuen glei-

---

[1] Boehm. Über den Einfluss der Kohlensäure auf das Ergrünen und Wachsthum der Pflanzen. Sitzungsb. der kais. Akad. d. W. in Wien, Bd. 68, 1. Abthlg. pag. 171. 1873.

cher Cultur liegt nicht in den äusseren Culturbedingungen, sondern in der Individualität der einzelnen Samen; die einen enthalten von den zu ihrer Entwicklung nothwendigen Mineralstoffen mehr, die anderen weniger.

Bei den in destillirtem Wasser gezogenen Pflanzen, welche erst später absterben, bemerkt man im Gegensatze zu den in Nährstofflösung gezogenen noch einen weiteren recht augenfälligen Unterschied: Die Primordialblätter bleiben im Vergleiche mit jenen der in Nährstofflösung gezogenen Pflanzen klein, und die Stiele verschrumpfen noch vor dem Absterben der Stengelenden unterhalb der Lamina; die Stiele lösen sich endlich, falls der obere Stengeltheil noch frisch ist, nach Bildung der rundzelligen Schicht.

Durch die bisher mitgetheilten Versuchsresultate sind die zwei oben gestellten Fragen in einer, wie mich dünkt, jeden Zweifel ausschliessenden Weise beantwortet:

1. Die mineralischen Nährstoffe sind für die Keimpflanzen schon zur Zeit der Entwicklung ihrer Organe auf Kosten der in den Samen deponirten Reservestoffe unentbehrlich, und
2. Die in den Samen von Phaseolus multiflorus enthaltenen Aschenbestandtheile reichen nicht aus, um die ganze Menge der in denselben vorhandenen organischen Reservenahrung zum Aufbau von Organen der Keimpflanze verwenden zu können.

Die nächste Frage, die sich naturgemäss nun in den Vordergrund stellt, lautet:

Welche mineralischen Stoffe sind es, an deren Mangel die Keimpflanze der Bohne vorzeitig zu Grunde geht?

Ich habe zur Lösung dieser Frage mehrere Versuchsreihen ausschliesslich auf silberplattirten Kupferschalen [1] mit den

[1] Auf jede Schale kommen 15 Bohnen. Diese wurden früher in destillirtem Wasser während 8 Stunden aufgeweicht und geschält. In den ersten 4 Tagen wurden die Nährflüssigkeiten täglich zweimal erneuert.

salpetersauren, schwefelsauren, phosphorsauren und kohlensauren Salzen von Kalium, Natrium, Magnesium und Calcium und deren Chloriden, mit völlig übereinstimmendem Resultate, im Dunkeln gemacht. Von der kohlensauren Magnesia, dem kohlensauren, schwefelsauren und phosphorsauren Kalke wurde in destillirtem Wasser so viel aufgeschlämmt, dass die Flüssigkeit milchig getrübt wurde. Die Concentration der übrigen in Wasser löslichen Salze betrug entweder 1 oder 2 pro Mille. Zu den Versuchen mit Chlorcalcium wurden jedesmal 4 Schalen bestimmt und hiebei Lösungen von $^1/_{10}$, $^1/_3$, 1 und 2 pro Mille verwendet.

In einer Schale wurde den Bohnen nur destillirtes Wasser, in einer zweiten eine vollständige Nährstofflösung und in einer dritten endlich etwas ausgewaschener, mit destillirtem Wasser befeuchteter (kalkreicher) Sand aus dem Wienflusse geboten.

Die Resultate dieser Versuche waren folgende:

Die Chloride und die kohlensauren Salze[1], mit Ausnahme des kohlensauren Kalkes, erwiesen sich geradezu schädlich; die Streckung des Stengels wurde verlangsamt, die kaum hervorgebrochenen Wurzeln getödtet und das Vermorschen und Einschrumpfen der Stengelspitzen nicht beseitiget. Die in Lösungen von schwefelsauren und phosphorsauren Magnesia-[2], Kali- und Natronsalzen gezogenen Keimlinge waren im Allgemeinen kümmerlicher als die meisten Schwesterpflanzen in destillirtem Wasser und gingen durchschnittlich auch früher zu Grunde. Möglicherweise waren aber auch diese Differenzen durch die Individualität der verwendeten Samen bedingt.

---

[1] Die schädliche Wirkung der Carbonate besonders auf die Wurzeln ist, in erster Linie wenigstens, wohl durch die alkalische Reaction derselben bedingt.

[2] Herrn Wilhelm Wolf gelang es nicht, in Lösungen von schwefelsaurer Magnesia Bohnenpflanzen mit gesunden Wurzeln fortzubringen; die Wurzeln verloren bald ihre Turgescenz und das weisse Ansehen, die Verdunstung der Pflanze wurde unregelmässig, die Zellenthätigkeit in den Wurzeln vernichtet. „Es ist möglich, dass auch dieses Salz vielleicht von den Wurzeln zersetzt wird und dass ein Zersetzungsprodukt zerstörend auf die Pflanzenzellen wirkt.“ Die landwirthschaftliche Versuchsst. 6. Bd., pg. 218. — 1864.

Auffallend war aber die günstige Wirkung sämmtlicher Kalksalze. Die in salpetersaurem Kalke von 1 bis 2 pro Mille gezogenen Pflanzen, so wie jene, denen der Kalk als kohlensaures Salz verabreicht wurde, unterschieden sich, besonders erstere, kaum von den in Nährstofflösung oder im Sande des Wienflusses cultivirten. Bei jenen Individuen, welche den Kalk als schwefelsaures oder phosphorsaures Salz in Form eines feinen Pulvers in Wasser vertheilt erhielten, hatte es den Anschein, als ob die Streckung der Stengel im Allgemeinen etwas langsamer erfolgt wäre; vielleicht war dies jedoch mehr zufällig. Auffallend kleiner blieben aber die Blattflächen. Ich glaube die Ursache hiefür darin zu finden, dass die Pflänzchen von diesen Salzen mehr lösten und aufnahmen als ihnen zuträglich war; auch in einer Lösung salpetersauren Kalkes von 3 bis 4 pro Mille erfolgte die Streckung der Stempel langsamer und die Blattflächen blieben kleiner als in jener von 1 pro Mille.

Eigenthümlich verhielten sich die Pflanzen gegen Chlorcalcium. Die in Lösungen von $^1/_{10}$ oder $^1/_3$ pro Mille gezogenen Keimlinge unterschieden sich in ihrer Entwicklung nicht von den in destillirtem Wasser kultivirten. Durch concentrirtere Lösungen aber wurden die jungen Wurzeln alsbald getödtet und die Stengelstreckung wurde sehr retardirt; die Primordialblätter blieben klein und verschrumpften endlich sammt der Stengelspitze.

Weitere Versuche im Dunkeln lehrten, dass die giftige Wirkung der kohlensauren Magnesia und des Chlorcalciums durch Zusatz eines gleichen Theiles von kohlensaurem Kalke paralysirt wird. In Lösungen von salpetersaurem Kalke, welche mit Natron- oder Kalisalzen gemischt wurden, entwickelten sich die Pflanzen ganz oder fast so wie bei Abwesenheit der letzteren. Bei Keimpflanzen aber, welche in Lösungen von $^1/_{10}$, $^1/_3$ oder selbst 1 pro Mille Chlorcalcium bei Zusatz von kohlensaurem Kalke cultivirt wurden, verbreiteten sich die Flächen der Primordialblätter häufig in einer Weise (bis zu 6 Ctm.), wie sonst niemals bei Verwendung der oben angeführten Kalksalze allein. Es fanden sich jedoch neben Pflanzen mit sehr grossen auch solche mit ganz kleinen Blattscheiben.

Die Antwort auf obige Frage: Welcher mineralische Stoff ist es, an dessen Mangel die Keimpflanzen der Bohne vorzeitig

zu Grunde gehen? lautet demnach ganz bestimmt: Dieser Aschenbestandtheil ist der Kalk.

Die Nothwendigkeit des Kalkes für eine gedeihliche Entwicklung der höheren Pflanzen ist längst bekannt; er ist einer jener drei Bestandtheile, welche schon von Saussure für die vegetabilische Entwicklung unentbehrlich erklärt wurde.

Stohmann[1] beschreibt seine denkwürdigen Culturversuche von Maispflanzen in kalkfreier Nährstofflösung wie folgt:

„Schon nach sechs Tagen, wo alle übrigen Pflanzen im Aussehen noch völlig gleich waren, konnte man an diesen ohne Kalk gezogenen Pflanzen deutlich bemerken, wie sie gegen die übrigen zurückblieben. Von da an bis zum zwanzigsten Tage, wo alle übrigen schon ein kräftiges Wachsthum zeigten, blieben diese stille stehen; sie lebten, ohne aber im geringsten vorwärts zu kommen. Die Pflänzchen waren höchstens zwei Ctm. hoch. . . . . Da nach einer solchen fünf Wochen dauernden Vegetation offenbar keine Substanzvermehrung mehr zu erwarten war, wurde eine Pflanze getrocknet, der anderen wurde (am 1. Juli) ein Zusatz von 0·1 Grm. Kalk als Nitrat gegeben. Es ging dadurch eine wunderbare Veränderung mit der Pflanze vor. Schon nach fünf Stunden, am Abend desselben Tages, drangen aus den welk gewordenen Spitzen vier frische grüne Triebe hervor, die sich am nächsten Tage zu Blättern und Stielen entwickelten. . . . Die Pflanze wurde so dicht belaubt, dass sie als Zierpflanze gelten konnte.“

Die Pflanze, welche keinen Kalk bekommen hatte, wog nach dem Trocknen 0·300 Grm.; die Pflanze, welche später den Zusatz von salpetersaurem Kalke erhalten hatte, wog trocken 84·300 Grm.; sie lieferte von allen Pflanzen das höchste Erntegewicht. l. c. pag. 320 u. 321[2].

---

[1] F. Stohmann. Über einige Bedingungen der Vegetation der Pflanzen. Annalen der Chemie und Pharmacie. Bd. 121; 1862.

[2] Die Pflanzen der Versuchsreihe ohne Magnesia verhielten sich im Anfang ähnlich wie jene ohne Kalk. „Es trat auch hier ein Stillstand in der Vegetation ein; eine in diesem Zeitpunkte getrocknete Pflanze zeigte ein ungefähr achtmal so hohes Gewicht wie der Samen, sie wog getrocknet 0·82 Grm. Nachdem zwei der übrigen Pflanzen salpetersaure Magnesia bekommen hatten, kamen auch sie vorwärts.“ l. c. pag. 320 u. 337.

Bei Wolf's Versuchen haben die Gypslösungen einen besonderen Einfluss geltend gemacht auf die Ausbildung einer Menge feiner, sehr langer Nebenwurzeln. Dasselbe findet in etwas vermindertem Grade in den Lösungen des sauren kohlensauren Kalkes statt. „Die Kalksalze", schreibt Wolf weiter, „scheinen einen eigenthümlichen Reiz auf die Bildung des Wurzelsystems auszuüben; denn auch in Kalksalpeterlösungen entwickeln sich die Wurzeln stets kräftiger, als in anderen Lösungen". l. c. pag. 218.

Adolf Mayer sagt in seinem „Lehrbuche der Agrikulturchemie", der werthvollsten Perle in der neuen landwirthschaftlichen Literatur, auf Seite 261 u. 262: „Allein auch bei diesem constituirendem Stoffe geht unsere Erkenntniss nicht über das Bewusstsein seiner absoluten Nothwendigkeit hinaus; auch für das Calcium kennen wir nicht den physiologischen Act, zu dessen Zustandekommen es nothwendig mitwirken muss und um dessentwillen die Pflanze seiner nicht entrathen kann. Sein Vorkommen im Blattorgane, nicht bloss während dessen Jugend, sondern noch vorherrschender in den herbstlichen Blättern, die im Begriffe sind abzufallen, scheint zwar einen Fingerzeig zu geben, umsomehr als wir wissen, dass niedrige Pilze, die kein Blattorgan besitzen und unfähig sind, organische Substanz zu produciren, auch frei von Calcium erzogen werden können. Allein dieser Fingerzeig ist doch noch mehrdeutig, und wir wissen nicht, ob wir geradezu den Schluss ziehen sollen, dass das Calcium in irgend einer Verbindung eine Rolle spiele bei der Production von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle, oder ob wir theilweise derartige Ablagerungen namentlich in den alternden chlorophyllhaltigen Organen einem ähnlichen Processe zuschreiben sollen, wie die Ansammlung der für den pflanzlichen Organismus so unwichtigen Kieselsäure."

Mit den oben angeführten Resultaten meiner Versuche sind wir der so wichtigen Frage über die physiologische Function des Kalkes, welcher in der Asche keiner höheren Pflanze fehlt, um einen bedeutenden Schritt, wie ich glaube, näher gerückt; wir wissen nun, dass derselbe unentbehrlich ist, um die bereits vorhandenen assimilirten Nährstoffe in Formbestandtheile des Pflanzenleibes umzuwandeln. Um aus der Stärke, dem Zucker

u. s. w. die Zellwand aufzubauen, ist der Kalk ebenso nothwendig wie für die Metamorphose des Knorpels im Knochen: der Kalk bildet das Skelet der Zellwand. Die Primordialblätter der in destillirtem Wasser gezogenen Bohnenpflanzen enthalten selbst zur Zeit der beginnenden Erschlaffung und Verschrumpfung ihrer Stielenden kaum weniger Aschenbestandtheile (10·02%) als die der gleich alten Schwesterpflanzen, welche in gewöhnlicher Ackererde gewachsen sind (10·29%).

Dass der Kalk bei allen sogenannten Kalkpflanzen, welche sich insgesammt durch üppige Blattbildung auszeichnen, dieselbe hochwichtige Rolle spielt, scheint mir zweifellos. Ob aber bei anderen Pflanzen das Calcium nicht wenigstens theilweise durch das eine oder andere chemische Element ersetzt werden kann, müssen fernere Versuche lehren.

Wenn, wie Sachs gezeigt hat, die Kieselsäure auch für die Gramineen bedeutungslos ist, so ist dies doch kaum bei den Schachtelhalmen und sicher nicht bei den Diatomaceen der Fall. Nur mühevolle Untersuchungen, die in der nächsten Zeit wohl noch ohne Aussicht auf lohnende Erfolge sein dürften, können hierüber Aufschluss geben.

Durch den Nachweis, dass das Calcium bei der Bildung der Zellwände unserer Versuchspflanze in nicht minder hervorragender Weise als der Zucker betheiligt ist, ist natürlich nicht ausgeschlossen, dass dasselbe auch bei der Bildung des Amylums participire. Folgender, mehrmals wiederholter Versuch dürfte hierüber Aufschluss geben.

Ich habe (im September 1874) Primordialblätter von Keimpflanzen der Feuerbohne, welche auf Porzellanschalen im Halbdunkel gezogen wurden, nach den ersten Anzeichen des Absterbens ihrer Stielenden, also wohl nach völligem Verbrauche des disponiblen Kalkes, unter einer Glocke in feuchter, 1 Procent Kohlensäure hältiger Luft entweder dem vollen Tages- oder dem directen Sonnenlichte ausgesetzt. Schon nach kurzer Zeit waren die Zellen mit Stärke erfüllt [1]. Der Kalk scheint demnach

[1] Falls keine Stärke gebildet worden wäre, hätte man natürlich nicht folgern dürfen, dass der Kalk bei der Stärkebildung irgendwie participire. Über meine weiteren diesbezüglichen Versuche werde ich in Bälde berichten.

bei der Stärkebildung weder directe noch indirecte betheiligt zu sein.

Eine geradezu höchst überraschende Eigenthümlichkeit zeigt sich rücksichtlich der Stärkevertheilung in den bei Kalkmangel gezogenen Bohnenpflanzen [1].

Bei den in Nährstofflösung oder in Töpfen im Dunkel oder im Halbdunkel gezogenen Pflanzen füllen sich anfänglich die Mark- und Rindenzellen mit Stärke, so dass die jungen Stengel sich in Jodlösung ganz schwarz färben. Während der fortschreitenden Streckung verschwindet die Stärke zuerst aus dem mittleren Theile des ersten Internodiums, und, nachdem das zweite Internodium nahezu ausgewachsen ist, findet man im grössten Theile des ersten Stengelgliedes in der Regel nur in der die Gefässbündel einschliessenden Zellschichte Stärke, während besonders die oberen Mark- und Rindenzellen des zweiten Internodiums nach der angegebenen Behandlung mit Jod dunkelschwarz werden.

Gerade die entgegengesetzte Stärkevertheilung findet statt bei den in destillirtem Wasser gezogenen Pflanzen. Dies wird um so auffälliger, je später dieselben bei noch prallen Cotylen absterben, ist aber auch bei nur einige Ctm. lang gewordenen Stengeln in der Regel sehr deutlich. Während der untere Stengeltheil in Folge der Überfüllung der Zellen mit Stärke sich meist in Jod ganz schwarz färbt, findet sich am entgegengesetzten Stammende Amylum nur in dem sogenannten Stärkeringe und fehlt auch hier oft in dem noch

[1] Bei derartigen Untersuchungen erweiset sich die von mir schon vor 18 Jahren angegebene Methode des Stärkenachweises (Beiträge zur näheren Kenntniss des Chlorophylls. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. 22. Bd. 1857) besonders vortheilhaft. Die, wenn nöthig, in Weingeist entfärbten, während 1—2 Tagen in Kalilauge digerirten Pflanzen werden mit Wasser und Essigsäure ausgelaugt und dann in Jodtinctur gebracht. Grössere Stärkemengen indiciren sich dem freien Auge alsbald durch eine dunkle, ja schwarze Färbung des Pflanzentheiles.

frischen Theile unterhalb der abgestorbenen Enden. Selbst bei jenen in destillirtem Wasser in Glasgefässen gezogenen Pflanzen, deren Stengel eine Länge von 50 Ctm. erreichten, findet man bei der mikroskopischen Untersuchung in einzelnen Markzellen des ersten Stengelgliedes und zwar besonders in jenen, welche den Blattspuren gegenüber liegen, noch fast auf jedem Querschnitte Amylum. Dies kommt bei auf kalkhaltiger Unterlage gezogenen Pflanzen niemals vor.

Es unterbleibt also bei jenen Pflanzen, bei welchen wegen Kalkmangel kein weiterer Zellenbau stattfinden kann, merkwürdig genug, auch die weitere Zuleitung des organischen Baustoffes aus den Reservebehältern zu den naturgemässen Verbrauchsstätten. In welchem nothwendigen Zusammenhange dieser Transport mit dem Kalke steht, ist mir völlig räthselhaft.

Von 30 Bohnenkeimlingen, welche in destillirtem Wasser im Dunkeln bis zu einer Länge von 3 bis 8 Ctm. gezogen und dann mit kohlensaurem Kalke gespeist wurden, vertrockneten bei 9 Exemplaren nach 1 bis 5 Tagen die Stengelenden unter der Endknospe, während sich die Schwesterpflanzen bis zur Aufzehrung aller Reservenahrung normal weiter entwickelten. — Nach Behandlung mit Kalilauge, Essigsäure und Jod färbten sich die unteren Stengeltheile der abgestorbenen Pflanzen schwarz, während die Stengelspitzen und Primordialblätter farblos blieben.

Diese soeben beschriebene Stockung des Stärketransportes erinnert lebhaft an ähnliche Beobachtungen, welche Nobbe im Jahre 1865 (Über die physiologische Function des Chlor in der Pflanze. Landw. Vers.-Stat., 7. Bd., S. 371) und in der lehrreichen Abhandlung „Über die organische Leistung des Kalium in der Pflanze“ 1871 mitgetheilt hat. Früher fand Nobbe, dass die bezüglich des Chlor darbenden Pflanzen (Buchweizen) in den stärkeführenden Zellgeweben ausserordentliche und weit grössere Mengen dieses Kohlehydrates enthalten als gesunde Individuen. „Es deuten“, sagt Nobbe, „alle Erscheinungen darauf hin, dass das Chlor an der Hinbeförderung dieses Reservestoffes zu den Früchten Antheil habe.“ l. c. p. 380. Eine ganz ähnliche Stärkeanschoppung beobachtete Nobbe bei seinen Studien über

die organische Leistung des Kalium. Nobbe kam hierbei zu folgenden Schlüssen:

1. „In kalifreier, sonst vollständiger Nährstofflösung vegetirt die Pflanze wie in reinem Wasser. Sie vermag nicht zu assimiliren und zeigt keine Gewichtszunahme, weil ohne Mitwirkung des Kalium in den Chlorophyllkörnern keine Stärke gebildet wird."
2. „Das Chlorkalium ist die wirksamste Verbindungsform, unter welcher das Kali der Buchweizenpflanze geboten werden kann. Salpetersaures Kali kommt dem Chlorkalium am nächsten. Wird Kali nur als schwefelsaures oder phosphorsauses Salz geboten, so entsteht früher oder später eine sehr ausgesprochene Krankheit, welche, von einer passiven Anhäufung des Stärkemehl ausgehend, darauf beruht, dass die in den Chlorophyllkörnern gebildete Stärke nicht abgeleitet und für die Vegetation verwerthet werden kann."

Nach Nobbe „ist die Analogie in den Erscheinungen der vorstehenden und der früheren Versuche nicht zu verkennen. Es wurde schon damals (l. c. 378) auf das bestimmteste betont, dass, wenn von Wirkungen des Chlor geredet werde, dadurch nicht präjudicirt werden solle, ob das Element als solches, oder an andere Körper gebunden, genannte Wirkungen ausübe, und der Beweis geliefert, dass das Chlorkalium als solches in den Zellsaft eintritt. In Ermanglung des Chlorkalium treten jene Krankheitserscheinungen ein, welche die Fruchtbildung hindern und den vorzeitigen Tod der Pflanzen herbeiführen".

Die Resultate der in vorstehender Abhandlung mitgetheilten Versuche und die daraus sich ergebenden Schlüsse möchte ich in Kürze in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Die in destillirtem Wasser gezogenen Keimpflanzen von Phaseolus multiflorus sterben früher oder später, stets aber vor dem völligen Verbrauche der organischen Reservenahrung durch Erschlaffung und Verschrumpfung des Stengels unterhalb der Endknospe. Einem gleichen Schicksale verfallen die etwas weiter entwickelten Stielenden der Primordialblätter.

2. Dieses Absterben wird durch verschiedene Kalksalze [1] (nicht aber durch Chlorcalcium) verhindert. Werden Keimpflanzen der Feuerbohne, welche in destillirtem Wasser gezogen wurden, nach erfolgtem Absterben der Stengelenden mit einem Kalksalze gespeist, so entwickeln sich die in den Achseln der Cotylen bei den genannten Culturen häufig auftretenden Knospen in normaler Weise weiter.
3. Der Kalk kann durch keine andere Base ersetzt werden; kohlensaure Magnesia für sich wirkt geradezu schädlich.
4. Bohnenkeimlinge, welche gleichzeitig und in demselben Gefässe in destillirtem Wasser gezogen werden, sterben unter obigen Erscheinungen in sehr verschiedenen Entwicklungsstadien; die einen schon, nachdem der Stengel kaum die Länge von 2 bis 3 Ctm. erreicht hat; andere erst, nachdem sie sich bis auf 30 bis 40, ja selbst 50 Ctm. gestreckt haben. Das Samengewicht ist hierbei nicht massgebend.
5. Die Ursache dieses verschiedenzeitigen Absterbens der Bohnenkeimpflanzen gleicher Cultur in destillirtem Wasser ist eine individuelle und offenbar durch den verschiedenen Kalkgehalt der Samen bedingt.
6. Die Aschenbestandtheile der Primordialblätter von in destillirtem Wasser gezogenen Pflanzen sind nicht geringer als die der gleichartigen Blätter der bei Kalkzufuhr cultivirten Schwesterpflanzen.
7. Der Kalk spielt bei der Umbildung organischer Baustoffe in Formbestandtheile des Pflanzenleibes eine ebenso wichtige Rolle, wie bei der Metamorphose des Knorpels in Knochen.

---

[1]) Dass die vergeilten Keimpflanzen der Feuerbohne in einer sehr verdünnten Lösung von salpetersaurem Kalke etwas besser gedeihen als in destillirten Wasser mit aufgeschlämmtem kohlensauren Kalke, dürfte vielleicht wohl entweder durch die schwach alkalische Reaction des letzteren oder durch übermässige Kalkaufnahme bedingt sein. Es ist aber zu bemerken, dass im aufgeschlämmten kohlensauren Kalke, bei Zusatz von etwas Chlorcalcium, die Entwicklung der Blattflächen (besonders bei Culturen im vollen Tageslichte unter Glasglocken) eine verhältnissmässig ausserordentlich üppige war.

8. Der Kalk ist für die Bildung von Stärke aus Kohlensäure völlig belanglos. Grüne, amylumfreie Primordialblätter, deren Stiele bereits einschrumpften, in welchen somit sicher kein disponibler Kalk mehr vorhanden war, zeigten unter sonst günstigen Bedingungen schon während 3 bis 5 Minuten unverkennbare Stärkespuren und waren nach einer halbstündigen Versuchsdauer ganz damit erfüllt.
9. Bei in destillirtem Wasser gezogenen Bohnenkeimlingen tritt eine höchst merkwürdige Stockung der Stärkeleitung von den Cotylen zur Stengelspitze auf. Während bei vergeilten Pflanzen, welche auf kalkhaltiger Unterlage gezogen wurden, die oberen Theile der gegen 40 bis 50 Ctm. langen Stengel nach Behandlung mit Kalilauge, Wasser, Essigsäure und Jod ganz schwarz werden und die unteren, bei noch ganz prallen Cotylen nur im Stärkeringe Amylum führen, ist gerade das Umgekehrte der Fall bei den in kalkfreien Flüssigkeiten gezogenen Pflanzen: die Stärke bleibt in den Mark- und Rindenzellen des unteren Stengeltheiles angesammelt.
10. Die Rolle, welche der Kalk bei dem Transporte der Stärke aus den Reservekammern zu den natürlichen Verbrauchsstätten spielt, ist bisher völlig räthselhaft.